

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.10.003

基于 ABAQUS 的某火炮击发机构碰撞仿真分析

简月敬, 何永, 黄欢

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 针对击发机构中击针存在的不足, 从碰撞力学的角度对某火炮击发机构进行碰撞分析计算。对击锤与击针的碰撞及撞击力进行分析, 利用有限元分析软件 ABAQUS 对某火炮击发机构建立有限元模型, 进行有限元仿真计算, 得到了击锤与击针的应力、速度、位移等参数。依据仿真结果分析可知, 构件相撞时细长杆更容易发生疲劳断裂, 应着重对击针的危险断面进行分析, 提出改进措施。该研究对提高击针寿命有一定的意义。

关键词: 击发机构; 击针; 碰撞

中图分类号: TJ306 **文献标志码:** A

Collision Simulation Analysis of Certain Cannon Firing Mechanism Based on ABAQUS

Lin Yuejing, He Yong, Huang Huan

(Dept. of Mechanical Engineering, Nanjing University of Technology & Engineering, Nanjing 210094, China)

Abstract: For the shortcoming of the firing pin in the firing mechanism, the collision of certain cannon fire mechanism is analyzed and calculated in this paper from the angle of the collision mechanics. The collision and impact force of the firing pin are analyzed. The finite element model of the cannon firing mechanism is built with the ABAQUS (the finite element analysis software), and then its finite element simulation is calculated. The calculated data include some parameters, such as stress, velocity and displacement of the hammer and the firing pin. According to the analysis of the simulation, the paper concludes that during the components' collision the slender rod is more prone to fatigue fracture. Then, focuses on the analysis of the dangerous section of the firing pin and put forwards some improving measures, which are of great significance to prolonging the serving life of the firing pin.

Key words: firing mechanism; firing pin; impact

0 引言

击发机构的作用是打击炮弹底火, 引燃发射药、发射弹头, 保证在各种使用条件下具有打燃底火的能量, 但不得打穿底火。击针是击发机构中比较容易损坏的零件, 受到击锤的撞击, 撞击底火, 因此要有足够的强度、硬度和韧性, 以保证较长的寿命^[1]。笔者从碰撞力学的角度对某火炮击发机构进行分析, 为预测击针提高寿命和强度提供了依据。

1 击锤与击针的碰撞及撞击力分析

1.1 碰撞原理分析

某火炮击发机构由阻铁、击锤体、叉套、击针、回针簧、击锤簧和回垂簧等组成, 其中击锤簧作用在叉套上。待发状态, 拨动子收回击锤, 压缩击锤弹簧, 储存击发能量。火炮击发时, 拨动子释放击锤, 击锤簧释放能量加速击锤与叉套运动, 由于阻铁的作用, 击锤簧运动一段距离, 叉套受到阻铁作

用而停止运动, 击锤由于惯性继续向前运动, 并以一定的速度与击针撞击, 同时由于击针所受的回针簧力和摩擦力相对撞击力很小, 因此击针的边界条件可以近似为一端受到撞击、一端自由, 撞击端面产生的压缩波从撞击端传向自由端, 在自由端反射形成拉伸波^[2]。击锤撞击击针后, 击针以一定的速度向前运动, 在向前运动的过程中, 击针的前端与炮弹的底火接触, 随着击针的位移增大, 底火的变形也在不断地变大, 对击针的反作用力也不断变大, 方向与击针运动的方向相反, 因此击针的速度不断变小, 但是运动方向不变。在底火变形的同时, 击针的撞击能转化为底火的变形能, 底火壳产生变形, 使底火内的击发药受到猛烈的挤压而点燃, 并进而引燃发射药, 发射出弹头^[3]。由于撞击力比回针簧力大得多, 对击发效果影响不大, 故可不予考虑。

1.2 击发能量计算

撞击底火主要取决于击锤、击针条件和击锤簧

收稿日期: 2012-05-10; 修回日期: 2012-06-12

作者简介: 简月敬(1985—), 男, 江苏人, 工学硕士, 从事火炮多体动力学分析、刚柔耦合分析研究。

的压缩力, 为了可靠地撞击底火, 必须知道击针在撞击底火瞬间的速度和撞击底火瞬间的能量^[4-5], 只要知道击锤撞击击针时的速度, 就可以结合模型进行仿真。

击锤击发时的工作行程为 l_A , 击锤的初始抗力为 F_1 , 终了抗力 F_2 , 则击发前击锤簧储存的势能为

$$W = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)l_A \quad (1)$$

击发时此势能传给击锤与叉套。由于摩擦损失, 压缩弹簧的势能与击锤与叉套的动能间的关系为

$$E = \mu W \quad (2)$$

其中 μ 为摩擦损耗系数, 通常取 0.9。

击锤击发时, 击锤与击锤簧共同运动, 假设击锤的质量为 m_A , 叉套质量 m_a , 击锤簧的质量 m_c , 击锤撞击击针前的速度为 v_c , 则叉套受阻时击锤的动能为

$$E_v = \frac{m_A + m_a + \frac{1}{3}m_c}{2} v_c^2 \quad (3)$$

因此击锤的速度

$$v_l = \sqrt{\frac{F_1 + F_2}{m_A + m_a + \frac{1}{3}m_c} \mu_A} \quad (4)$$

由于忽略回锤簧的作用, 此速度可以近似为击锤撞击击针时的速度。

故击锤撞击击针时, 击锤的动能

$$E_A = \frac{1}{2} m_A v_c^2 \quad (5)$$

2 击发机构有限元仿真模型分析

2.1 模型的建立及网格的划分

由于本击发机构模型不是规则几何体, 在有限元软件里面建模比较麻烦, 所以需用专门的建模软件。在 SOLIDWORKS 中完成击针、击锤和底火的建模, 并组成装配体, 保持击锤、击针和底火三者同心, 其中击锤头部与击针尾部的距离为 5.5 mm, 击针头部与底火的距离为 4.5 mm。由于击锤是不规则模型, 依据经验, 击发机构中击针更容易断裂, 为了便于划分网格和分析, 进行击锤简化建模, 保证击锤质量不变, 简化建模完成后导入到 ABAQUS 中。击锤、击针和底火的材料模型见表 1, 其中 E 为材料的弹性模量, μ 为材料的泊松比, ρ 为材料密

度, σ 为材料的屈服极限。

表 1 击锤、击针、底火材料模型参数

名称	材料	E/MPa	μ	$\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	σ/MPa
击锤	炮钢	210E+3	0.3	7 900	1 196.2
击针	炮钢	210E+3	0.3	7 900	1 196.2
底火	冷拔黄铜	97E+3	0.42	8 930	400

笔者主要分析击针的受力和变形情况, 所以击针严格按照实际形状进行建模, 为不规则几何形状。击针主体采用 C3D4 材料: 其结构形状为四节点线性四面体单元。击针头部采用 C3DI 材料: 其结构形状为八节点线性六面体单元, 非协调模式。把击锤不规则几何形状等效成规则形状, 采用 C3DI 材料: 其结构形状为八节点线性六面体单元, 非协调模式。底火也采用 C3DI 材料: 其结构形状为八节点线性六面体单元, 非协调模式。击针头部和尾部受力比较大, 故在这 2 处附近细化网格。故机构的有限元模型如图 1。

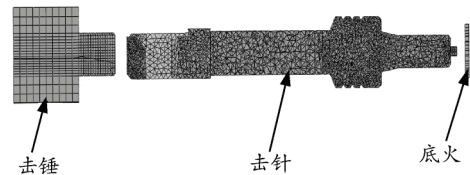


图 1 击发机构有限元模型

2.2 接触面定义

本模型中有 2 个接触: 击锤与击针接触, 击针与底火接触, 且都是端面之间的接触, 故采用 ABAQUS 里面的表面-表面(surface to surface)接触, 主面选择网格划分较粗的一面, 从面选择网格划分较细的一面, 故击锤与击针接触时选择击锤端面为主面, 击针后端面为从面, 击针与底火接触时选用底火端面为主面, 击针端面为从面。

2.3 约束和边界条件确立

由于直接在几何模型上施加边界条件会把已经划分好网格的柔体有限元模型变成刚体, 造成仿真结果的错误。因此, 笔者利用参考点对有限元模型进行分布式耦合约束, 边界条件施加在耦合点上, 就解决了此问题。由于击锤沿 Y 方向上撞击击针, 故对击锤和击针施加边界条件 $U1, U3, UR1, UR2, UR3$ (1, 2, 3 分别表示 X, Y, Z 方向) 约束, 释放 $U2$, 施加在耦合点上, 底火四周面施加 $U1, U2, U3, UR1, UR2, UR3$ 全部的约束。其建模流程如图 2。

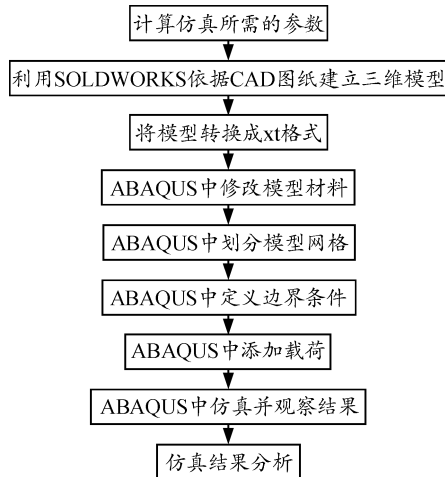


图 2 建模仿真流程图

2.4 载荷的施加

根据前面的公式，经过计算，击锤撞击击针时的速度为 6.36 m/s，击锤能量 $E_A=5$ J。故对击锤施加一个沿 Y 方向速度为 6.36 m/s 的速度场，由于回针簧的力和摩擦力与撞击力相比小的多，可忽略不计。

3 击发机构碰撞仿真结果分析

3.1 应力分析

图 3 为击锤撞击击针 (0.9 ms) 时刻的等效应力云图。由 3 图可知，此时包含最大应力区域，最大应力在节点 43_1 处。由图 4 可知，其最大等效应力值达到 442.2 MPa，击针材料的屈服应力 1 196.2 MPa，则击针强度的安全系数 $c=1196.2/442.2=2.7$ ，所以击针强度是合格的，由图 3 可以看出，击针受到撞击应力最大值不是在撞击处，而是在距撞击一定距离处，即击针的断裂不是在撞击的直接作用下产生的，而是受到撞击后，击针内部产生拉-压应力，并且拉压应力相互交替作用，在几何形状突变处产生的应力最大。由此可以推断，击针断裂是由于在拉-压应力的反复作用下，发生疲劳失效而断裂的。由图 4 可以看出，撞击时，击针的内部应力比击锤大的多，这说明 2 个构件撞击时细长杆更容易发生疲劳断裂。

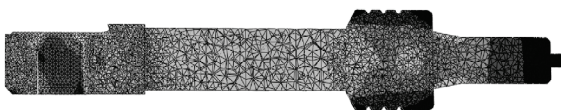


图 3 击针应力云图

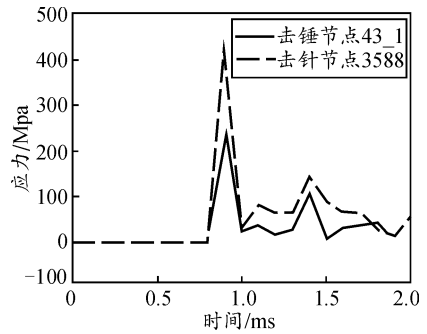


图 4 击锤、击针最大应力节点时间历程曲线

3.2 速度位移分析

图 5 是击锤头部编号为 253 节点和击针节点 1361 沿 Y 方向的位移曲线图，由图 5 可知，击锤撞击击针后，击针头部的位移沿 Y 方向随时间增大，在撞击底火的时候没有反弹，由此可知击针在整个击发机构的运动过程中沿着 Y 方向正向运动，并没有与底火撞击而产生反方向运动。由图 6 可知，击锤在 0.9 ms 时撞击击针后速度减小，击针的速度增大，并且速度在不断变化，因为在受到撞击时，内部产生了拉伸-压缩波^[6]，因而导致节点速度不断变化。1.5 ms 时与底火相撞，速度减小。

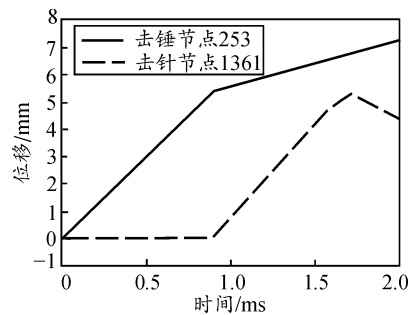


图 5 击锤节点 253、击针节点 1361 沿 Y 方向位移曲线图

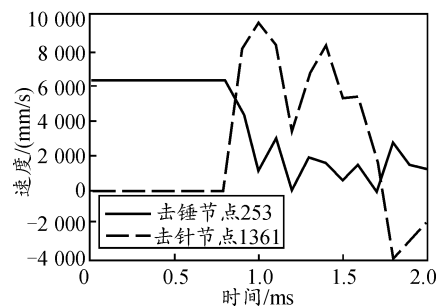


图 6 击锤节点 253、击针节点 1361 沿 Y 方向速度曲线图

4 结束语

笔者通过理论计算与有限元仿真相结合的方法，分析了击发机构中击锤与击针的受力与运动情况，着重分析了击针的受力情况，可以看出击针最

大应力没有超过材料屈服极限, 击针的断裂并不是由于受到撞击而产生的, 而是由于受到击锤撞击产生拉-压应力而产生的, 并且拉-压应力反复作用, 在距击针一定距离处和形状突变处产生疲劳而断裂, 其危险端面并不是在撞击端面。与击锤相比, 击针受到的应力更大, 这说明撞击时细长杆件更容易发生疲劳断裂。为了提高击针的寿命, 应尽可能地提高击针尾部表面质量, 减小应力循环幅值, 并且在满足实际应用条件的情况下, 尽可能使构件形状合理, 减小应力集中, 提高构件表面加工精度, 增强抗疲劳能力。仿真结果表明, 将理论计算与有限元仿真相结合的方法是进行击发机构设计的有效

(上接第 3 页)

5 工程应用

试验系统研制完成后, 在 $\Phi 5\text{ m}$ 立式风洞开展了引导性试验。立式风洞是我国首座自主研发, 拥有自主知识产权的世界级立式风洞, 试验段直径 5 m , 主要用于飞机模型尾旋特性、直升机垂直起降、返回舱及舱伞组合体、降落伞等性能研究及风洞跳伞训练等。试验模型为某型号旋转天平模型, 采用杆式应变天平。

试验中, 模型重力作用于天平上的力是恒定的, 可以直接扣除。模型旋转所产生的惯性力和力矩随姿态和转速变化而变化, 且包含空气阻尼的影响。利用模型正向和反向旋转阻尼影响符号相反、而惯性力和力矩的符号相同, 采用装置正、反转的测试数据取平均值的方法消除空气阻尼影响。

为了扣除模型的惯性力和力矩, 对每一模型姿态, 风洞不吹风、模型分别以给定转速序列作顺时针、逆时针旋转, 待转速达到控制精度范围后, 分别测定作用在模型上的惯性力和力矩作为初读数; 接着在风洞吹风、模型分别以同样的给定转速序列作顺时针/逆时针旋转, 分别测定作用在模型上惯性力和力矩作为吹风数。考虑模型吹风时与无风时惯性载荷基本一致, 将吹风数减去初读数即可扣除模型的惯性力和力矩。为了提高试验数据的精度, 对

途径。其结果对普通构建撞击仍然适用。

参考文献:

- [1] 《步兵自动武器及弹药设计手册》编写组. 步兵自动武器及弹药设计手册[S]. 北京: 国防工业出版社, 1977.
- [2] 史瑞明. 武器撞击动力学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991.
- [3] 于道文. 自动武器学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1992.
- [4] 霍建鹏, 高冉, 潘玉田. 机械击发装置撞击力学分析[J]. 机械工程与自动化, 2011(1): 82-84.
- [5] 唐冶. 迫击炮设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1994.
- [6] 金栋平. 碰撞振动与控制[M]. 北京: 北京科学出版社, 2005.

于每一个试验点在较高的采样频率(如 $5\ 000\text{ Hz}$)下采集多个旋转圈(如 7 圈)的数据, 取其平均值作为一个试验点的原始数据。以上过程均由测控系统自动完成。

6 结论

测控系统将不同厂商的硬件和软件集成在一个数字化和网络化测控系统, 实现了指令、信息、参数和试验数据的网络实时传递。系统自动化程度高, 试验时仅由一名操作人员在上位机中发布指令, 系统按照运转计划表自动指挥调度各子系统, 完成试验测量与控制全过程。引导试验结果表明: 该测控系统完善了飞机尾旋研究平台, 可直接进入试验研究和工程实用阶段, 可以更好地为飞机尾旋特性分析和预测研究服务, 能有效提升立式风洞试验能力。

参考文献:

- [1] 姜裕标, 马军. 立式风洞旋转天平试验装置研制总结[R]. 绵阳: 中国空气动力研究与发展中心低速所, 2010.
- [2] 熊建军, 马军, 王辉, 等. 基于 Profibus-DP 的弧形轨旋转控制系统[J]. 兵工自动化, 2011, 30(8): 72-74.
- [3] 熊建军, 姜裕标, 马军, 等. 旋转天平装置电气控制系统[J]. 电气传动, 2011(9): 46-49.
- [4] 罗凌江, 康林. 某风洞试验装置动力学特性分析[J]. 兵工自动化, 2011, 30(11): 36-38.
- [5] 饶正周, 郁文山, 马永一. 2.4 m 跨声速风洞双转轴控制系统[J]. 兵工自动化, 2011, 30(10): 79-80.